

お客様のための技術情報誌

エスペック 技術情報

特集:

信頼性試験・安全規格

CONTENTS

技術レポート

自動車の信頼性保証と信頼性試験	1
-----------------	---

技術解説1

ISO国際安全規格 —内容と動向—	7
-------------------	---

技術解説2

故障解析方法 — Part 1 電子部品の断面観察方法 —	15
----------------------------------	----

トピックス

公益信託 エスペック地球環境研究・技術基金 —2002年度 助成対象者 選考結果—	
「エスペック技術情報」のご提供方法変更のお知らせ	18

自動車の信頼性保証と信頼性試験

田村 優*

自動車は、多くの製品の中でも、特に、顧客の使い方や使われる環境のばらつきが大きい製品のひとつである。その中で、より高信頼性の製品を開発するためには、世界のあらゆる地域の環境条件や顧客の使い方条件をつぶさに調査し、的確に信頼性目標に反映させることと、その達成度を確保する信頼性試験の作成が必要となる。一方、昨今の市場動向に対応した開発期間の短縮や原価低減を受け、信頼性試験期間の短縮やシミュレーション技術の導入による信頼性試験の削減も重要なアイテムである。本報では、自動車における信頼性保証活動と信頼性試験の現状と方向性について紹介する。

1. まえがき

昨今、顧客の要求のスピードが速くなり、モデルサイクルの期間が著しく短くなってきた。特に、耐久性・信頼性の確認は、長い期間と莫大な工数と費用がかかり、製品開発の2つの柱である開発期間の短縮と原価低減のいずれにとっても大きな障害となっている。一方、IT/ITSの進歩に伴う電子・電装部品の採用や顧客志向の多様化に伴い、新機構・新システムの導入が増えている。しかしながら、顧客の信頼性に対する要求は日々向上しており、従来以上の信頼性を確保することは必須となっている。このような状況を踏まえ、より高信頼性の製品を開発するためには、刻々と変化する市場での顧客の要求を的確に捉えることと、より正確に市場をシミュレートした信頼性試験を開発することが前提となる。

本報では、自動車における信頼性試験に焦点を当て、信頼性保証の現状と方向性について紹介する。

2. 信頼性保証活動 1)、2)、3)

図1は、信頼性保証体系図を示したもので、この体系に準じて信頼性プログラムを実行する。この中で設計的に重要なポイントを挙げる。

- ・顧客の要求品質がわかっているか？⁴⁾
- ・顧客の使い方と使用環境がわかっているか？
- ・顧客の要求が設計仕様に落とし込まれているか？
- ・顧客の要求を適切に評価できる信頼性試験は整備できているか？
- ・市場動向に合わせ、基準類が、メンテナンスされた状態またはできる仕組みになっているか？

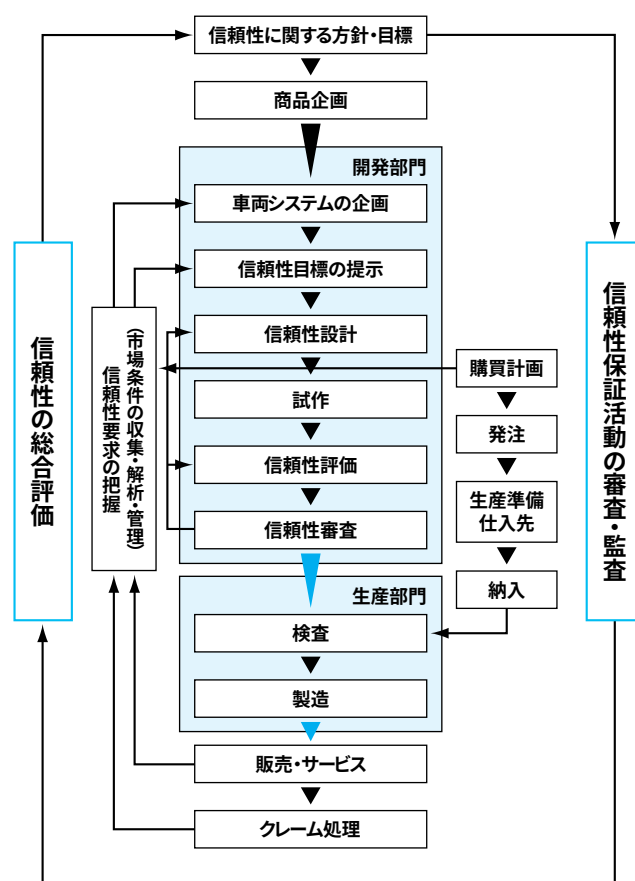


図1 信頼性保証体系図

*日産自動車株式会社 車両評価・実験部 主管
お客様サービス本部 品質保証部 主管兼務

3. 顧客の要求品質の把握⁵⁾

3-1 市場動向と市場条件の把握

自動車は、顧客の使われ方のばらつきの多い製品であるとともに、顧客の要求の幅も計り知れないくらいに大きいものである。特に、顧客の使われ方は国や地域、顧客の使用用途によっても違ってくる。図2は、北海道で冬場の雪を溶かすために散布される融雪塩の量の経過を示したものであるが、6年間で散布量が約8倍になっていることがわかる。しかしながら、融雪塩の散布量が多くなり、車の錆が促進されたとしても、顧客の要求に変わりはない。むしろ、実際には日々高くなっている。よって、我々は、顧客の要求に合わせ、防錆性能の向上を図ることになる。このように、刻々と変化する顧客の要求に応えるためには、市場動向を地道に把握し、タイムリーに車のスペックに落とし込むことが必要となる。

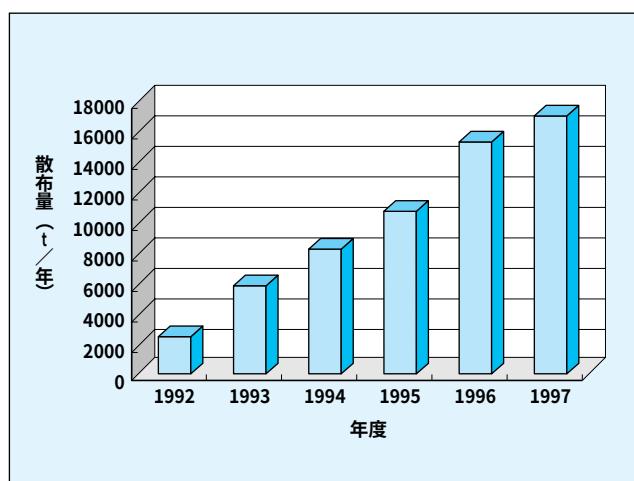


図2 融雪塩散布量(出典:北海道新聞)

自動車の場合、市場条件を車が使われている国や地域の環境を表す「環境条件」と、顧客の使い方に起因する「使われ方条件」に分けて整理することが多い。

① 環境条件

1) 気象状況

温度、湿度、降水量、オゾン、ダスト、日射量など

2) 燃料、油脂類の種類

オクタン価、粘性、含有物の量など

② 使われ方条件

1) 路面状況

・路面の種類：アスファルト路、コンクリート路、砂利路などの凹凸

・路面のメンテナンス（補修）状況、補修期間

2) 使用状況

・路面の種類別の走行比率
砂利路、アスファルト路の走行比率など

・交通状況による走行比率
渋滞路、市街路、高速道路、山岳路など

・使用目的毎の使用頻度
買物、通勤・通学、ドライブ、ビジネスなど

・自動車の使用期間
廃車までの年数／走行距離、平均使用年数など

3-2 信頼性目標の設定

顧客の要求品質は信頼性目標で表されるが、その表し方には2つの種類がある。これらは、市場での条件と顧客の要求品質、そして他社車の動向から決定する。

・耐用寿命での表示

どの程度の期間、壊れてほしくないかを使用年数／距離と信頼度（または、累積故障率）で表したもの

・劣化の度合での表示

性能の劣化などで、ある使用年数／距離での劣化レベルで表したもの

前者の場合は、耐用寿命までに自動車が市場で受ける負荷の分布を市場での計測や実際の故障データから求め目標値とする。後者の場合は、実際に市場を走らせたモニター車や回収した中古車からデータを取得し目標値を設定する。目標値の設定のしかたを図3に、代表事例を表1に示す。

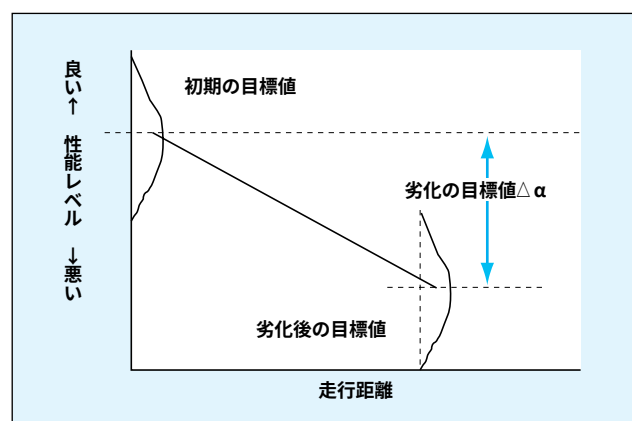


図3 性能の劣化と信頼性目標値

表1 信頼性目標一覧表(例) □万km時点

Nº	項目	代用特性	信頼性目標値
1	トリムの色あせ	色差 (=ΔE)	ΔE=○以下
2	グリル損傷	チッピング打点数	評点○点以上
3	腐食	板厚減少量	減少量○mm以下
4	こもり音	室内騒音	劣化量○dB以下
5	アイドル振動	フロア上下振動	劣化量○dB以下

3-3 市場条件把握のためのアプローチ^{6)、7)、8)、9)}

信頼性目標を設定するにあたっては、市場で受ける負荷を的確に把握することが必要である。そのためには、まず、対象とする故障の発生原因と故障メカニズムを明確にする。それ以降は、図4(p.3)のアプローチに基づき実施する。

(1) 代用特性値の設定

市場での負荷を捉えるためには、対象とする故障の代用特性を明らかにする。たとえば、エンジンマウントの疲労強度は、機械的入力、熱、オゾンの負荷を複合的に受ける。機械的入力とは路面とエンジンの駆動力からの上下・前後・左右入力、熱負荷はエンジンマウントの周辺温度・表面温度、オゾンは大気中のオゾン濃度が代用特性となる。また、インストルメントパネルなどの耐候性劣化の場合は日射量や表面温度を、腐食の場合は電子の移動量を表すクーロン量やスプラッシュ量となる。

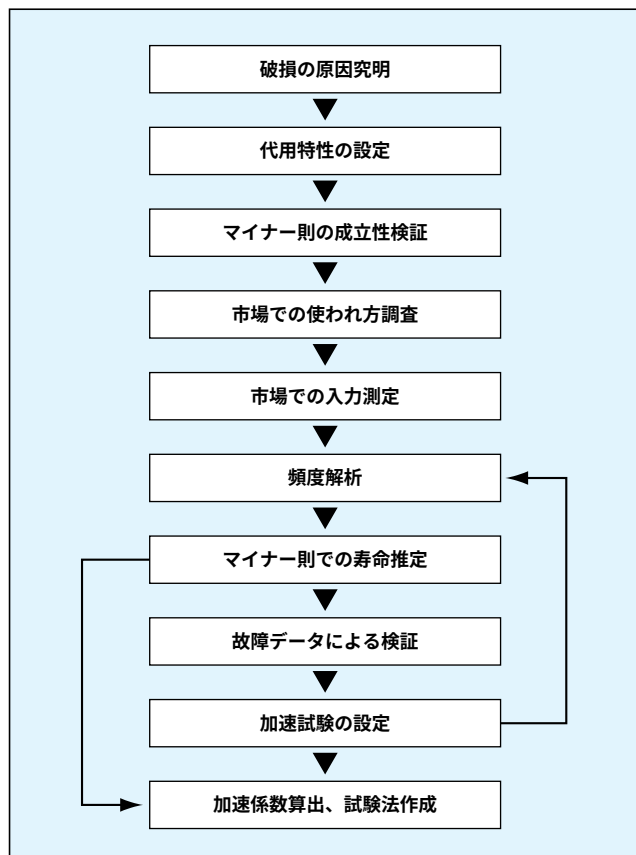


図4 市場把握～試験法作成まで

(2) 市場モデルの考え方

市場で受ける負荷から寿命推定を行うにあたっては、市場全体を的確に把握する必要がある。エンジンマウントの場合、上下・前後・左右の入力は、駆動時のロール入力と路面からの上下入力の複合により影響を受ける。ロール入力は走行状況を、路面入力は不整路をどれくらいの比率で走行するかがポイントになる。したがって、市場モデルは、目的とする入力因子とその因子に影響する市場での使われ方を再現することで設定する。ロール入力は市場での走行状況に応じた渋滞路、市街路、高速道路等の荷重頻度を、路面入力は不整路走行時の荷重頻度を測定する。また、各入力に影響を与える乗車人員数、積載量を別に求める。

一方、インストルメントパネルなどの耐候性の場合には日射量の多い地域を、腐食の場合は融雪塩の散布地域や海塩粒子の厳しい海岸近くの地域を選定し、それぞれの入力を測定する。

(3) 市場で受ける負荷分布の推定

市場での測定データ、たとえば、ロール入力や路面の上下入力を頻度解析（極値頻度、レインフロー等）する。次に、頻度解析から得た頻度分布と別に求めたS-N線図から、マイナーの累積被害則を用い、各走行ルート毎の単位距離当たりの被害度を求める。各走行ルート毎の被害度と日本全国の地域別に求めた走行状況別、路面種別走行比率データからモンテカルロシミュレーションを用い、市場での被害度分布を推定する（図5）。

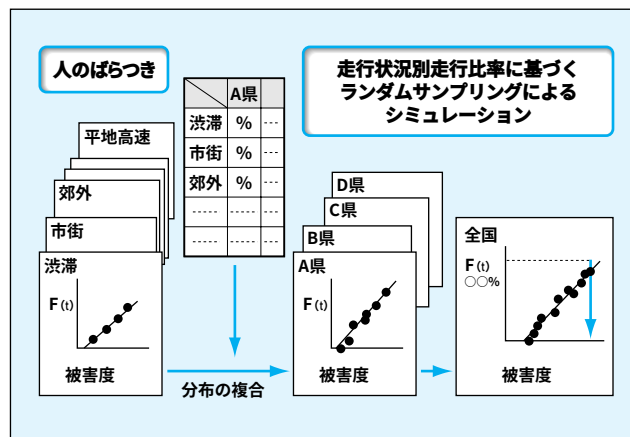


図5 市場での被害度分布推定

(4) 信頼性目標の決定

次に、設定した信頼性目標の妥当性を市場での故障データなどから検証する必要がある。図6に示すように、市場モデルを用いた入力測定結果から求めた寿命推定分布と市場モニター品や市場での故障品の実寿命分布を比較し、両方の分布が合っていれば、設定した市場モデルの妥当性が検証できたことになる。この寿命推定から得られた被害度の分布から、保証すべき信頼性目標（この場合は被害度）を決定する。

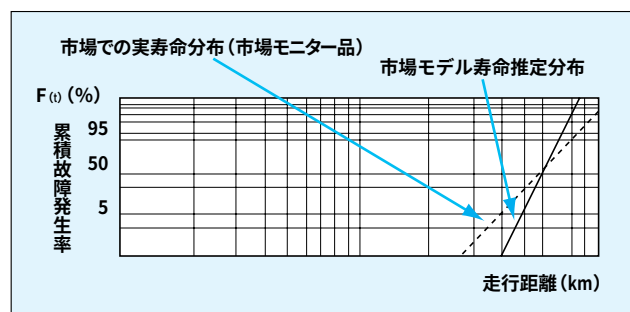


図6 寿命分布の比較と検証

故障データなどによる検証例を示すと、エンジンマウントなどのゴム部品の場合は、亀裂の発生距離を用いて検証する。インストルメントパネルの耐候性劣化の場合は、インストルメントパネルの樹脂の色あせ度合を表す色差を用いて、日射量の厳しい市場での劣化度合と環境試験での劣化度合を比較し検証する。腐食の場合には、錆の進行状況を表す腐食面積や板厚減少量を用い、腐食環境の厳しい地域での錆の進行度合と腐食試験での進行度合を比較する。しかしながら、昨今の自動車の信頼性レベルは高く、市場での故障品（不具合品）により検証することはなかなか難しくなっている。このことから、検証に当たっては、中古車や良品を回収し、その特性の劣化度合を調査したり、残存寿命を求めることから検証を取ることが多くなってきている。

4. 信頼性試験

4-1 信頼性試験体系

自動車の信頼性試験の役割には、大きく2つの役割がある。一つは、アイテムの信頼性特性値を決定するための信頼性決定試験であり、もう一つは、アイテムの信頼性特性値が規定の信頼性要求に合致しているかどうかを確認する信頼性適合試験である。前者は、設計パラメータを決める際に行い、後者は、製品の信頼性を確認するために行う。

自動車の信頼性試験は、図7に示すように、車両、システム、部品、材料の各単位で実施されるが、各階層での信頼性が保証されることが、製品の信頼性保証の大前提となる。写真1に、車両での信頼性試験が実施されるブルーピンググラウンドの全景を示す。自動車の環境試験の代表として、防錆性能を評価する腐食試験がある。この腐食試験は、テストピースでの材料レベルでの環境試験から車両レベルの環境試験へと各階層毎に試験項目を設定している。自動車が考慮すべき腐食には、海塩粒子による腐食と融雪塩による腐食がある。車両を使った腐食試験には、市場での腐食環境を再現させた湿潤室と乾燥室の屋内試験、塩水路、塩水噴霧路、塩泥路などの屋外走行試験がある。写真2に、屋内の腐食試験室（乾燥室）の様子を示す。

これらはいずれも加速試験であるが、市場での実働負荷条件下での暴露試験も行い、長期間での腐食促進状況を把握している。

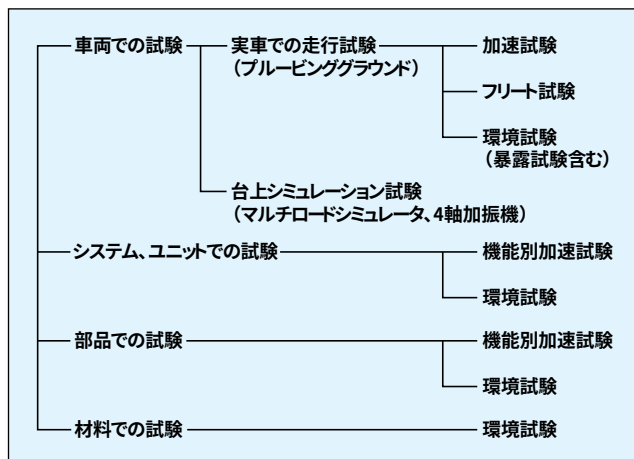


図7 信頼性試験の体系



写真1 ブルーピンググラウンド（栃木）



写真2 車両での腐食環境試験

4-2 信頼性試験の作成

信頼性試験の作成に当たっては、市場調査により把握した市場での各種条件をいかに正確に試験条件に落とし込めるかがポイントとなる。図8は、駆動系の信頼性試験の試験パターンを示したものである。顧客の変速の仕方やそのときのエンジン回転数、車速などを考慮し、顧客の使い方とかけ離れたような試験パターンにならぬよう考慮する。

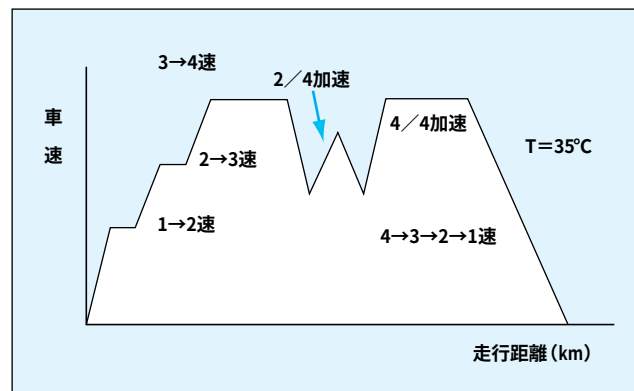


図8 試験のパターン例（加減速パターン）

次に、マイナーの累積被害則を用いて寿命予測を行い、図9に示すように、市場での被害度と試験の被害度の比から加速係数（ D_T/D_M ）を算出する。実際には、この作業をトライ・アンド・エラーで幾度か実施し、要求される開発期間にリンクした信頼性試験にする。

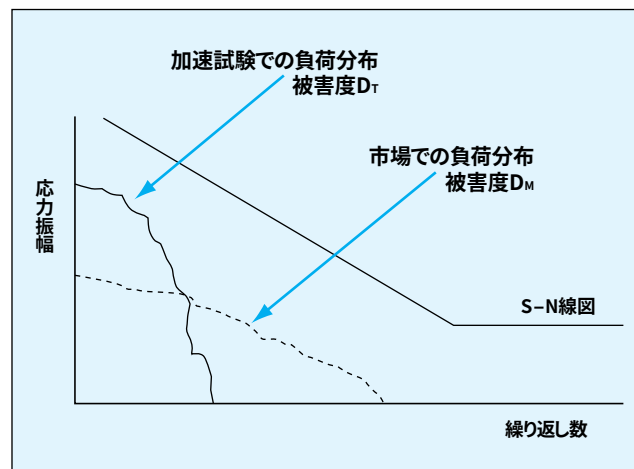


図9 負荷比較による加速係数の算出

一方、腐食試験の場合には、基本的には湿度と温度のサイクル、塩水の噴霧頻度、塩泥路の走行頻度により加速試験を作成するが、塩水の濃度や融雪塩の成分、さらには、融雪塩の散布量を試験条件に反映している。加速係数は、前述したように、腐食環境の厳しい地域での車両や回収した中古車を用いて、腐食試験のサイクル毎の腐食面積やパネルの板厚減少量との比較から求めることができる。しかしながら、腐食試験の場合、加速係数をむやみに上げてしまったほど錆が促進しなかったり、腐食の状況が異なったりすることがある。その他、ゴムや樹脂などの高分子材料を評価するための環境試験でも、加速しすぎることにより故障モードに変化を生じさせることも多く、注意が必要である。

5. 信頼性試験の課題と今後の方向性^{10)、11)}

5-1 開発期間短縮への対応と課題

開発期間の短縮により我々に与えられる試験期間は益々短くなっている。そのような状況を打破するには、従来以上に加速・短縮した信頼性試験が必要となる。耐久性に関するブルーピンググラウンドでの有人による実車走行試験は、無人で実車を走行させる試験（写真3）や、市場での入力をダイレクトに台上試験にシミュレートしたマルチロードシミュレータ（MRS）（写真4）に置き換えられてきている¹²⁾。



写真3 実車 無人走行試験システム¹²⁾



写真4 MRSによる台上試験

しかしながら、ゴム・樹脂などの高分子材料の疲労試験や腐食試験は、これ以上の加速をすると故障モードに変化が生じ、試験期間に限界が来ているものも少なくない。よって、耐環境試験では、一定サイクルで打ち切り、試験後の劣化度合を測ることにより評価する項目も増えている。一方、このような状況を踏まえ、できる限り信頼性試験を行わないで評価する方法も検討されている。特に、コンピュータで疑似試験を行うシミュレーション技術の開発が急がれ、信頼性試験を行わないで信頼性を保証することが必要となってきている。

5-2 予測型信頼性保証への移行

開発期間短縮とともに重要なアイテムが原価低減である。試験数の削減は厳しい課題ではあるが、信頼性技術者にとって大切なことは、できる限り少ない試料で市場の母集団を正しく保証することである。従来にも増して、過去の同一材料や同一構造の部品の試験結果を有効に利用することが求められている。材料特性値（引張強度、S-N線図など）や過去の不具合事例などの基礎データのデータベース再構築が、従来以上に重要となってきている。開発期間を短縮し、できる限り少ない試験数で今まで以上の信頼性を確保するためには、机上での寿命予測シミュレーションを駆使し、開発の早い段階で信頼性を保証する予測型信頼性保証体系に移行する必要がある。図10に予測型信頼性保証体系を示す。

5-3 信頼性試験の課題と方向性

上記のように、開発期間の短縮や原価低減に向けて、予測型信頼性保証体系に徐々に移行していく必要はある。しかしながら、現実には、まだまだ信頼性試験を通してモノで確認する必要のあるものも多い。

また、従来、自動車はメカ系の製品と言われてきたが、今では電子・電装系の製品と言っても過言ではない。電子・電装部品については、加速試験のための代用特性、市場との関連の取り方や加速試験の作成方法など、まだまだ不明確な点が多い。

また、ゴム・樹脂部品などは、路面負荷や駆動負荷のような機械入力に加え、熱、オゾンなどの環境因子の影響を

複合的に受けることもわかってきたが、現時点では、複合負荷による影響を考慮した寿命予測や信頼性試験については、開発途上にあり、やるべきことは山のように残っている。特に、従来の単一方向（たとえば、前述した路面負荷だと、上下・前後・左右方向のそれぞれの負荷で試験を行う）や一環境条件下での信頼性試験では、故障メカニズムが合わなかったり、単一負荷毎に求めた寿命の総和が市場での寿命と一致しないケースも増えている。このような状況を踏まえ、オゾン、高温・低温、塩水噴霧などの複数の環境条件下において、市場での使われ方を再現させた試験ができる複合型の信頼性試験が強く望まれている。

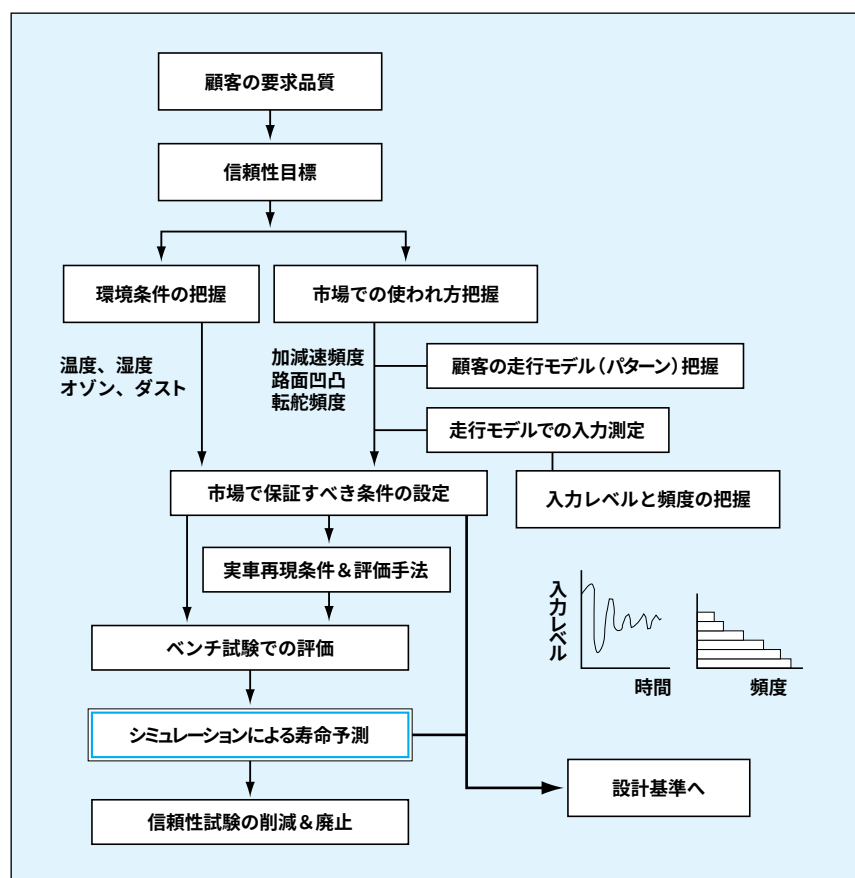


図10 予測型信頼性保証体系

6. まとめ

エレクトロニクスの発達により電子制御部品が増え、故障現象も従来のメカ系の故障に留まらず、エレキ系、さらにはメカ系とエレキ系にまたがる故障など、故障形態も複雑・多岐になってきている。一方で、開発期間の短縮、原価低減などの厳しい状況の下で、信頼性を確保し顧客の要求に答えていくためには、企業活動として以下のことが大切であると考える。

- ・顧客の要求品質の把握を軸とした信頼性保証体系の構築
- ・市場動向が的確かつタイムリーに把握できる仕組みの構築
- ・従来の関門型信頼保証体系からシミュレーションを柱とした予測型信頼性保証体系への移行
- ・材料特性や過去の不具合事例などの基礎データのデータベース化

また、製品・システムでの信頼性試験は、その多くが自動車メーカーで実施するものとされてきたが、昨今のモジュール化の発達により、サプライヤーでのシステムレベルでの信頼性試験が多くなっている。製品側とシステム・部品側の信頼性目標とその達成手段などの共有化のためのコミュニケーションも、開発期間の短い中では重要な因子となってきている。顧客の要求や市場条件の把握、信頼性試験の作成、寿命予測など、そのどれを取り上げても一朝一夕で達成できるものではない。このような課題をひとつずつ地道にクリアすることにより、世界の信頼性のトレンドリーダーとしての地位を維持し続けたいものである。

〔参考文献〕

- 1) 田村 優：「機械・構造系機器の信頼性設計」、信頼性ハンドブック、P.704-711、日本信頼性学会、日科技連出版社、(1997)
- 2) 田村 優：信頼性セミナー専門コーステキスト「自動車工業における信頼性」、(2001)
- 3) 山田雄愛、長谷 勝：「自動車の信頼性の歴史(1)」、日本信頼性学会、P.369-374、(1993)
- 4) 田村 優：「顧客の要求品質に関する一考察」、第29回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.167-174、(1999)
- 5) 橋本 克、梅澤茂雄：「自動車の腐食環境把握について」、第29回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.179-184、(1999)
- 6) 田村 優、上月 映、豊嶋 幸：「自動車における使用実態調査の一手法について」、第17回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.141-144、(1987)
- 7) 矢内秀克、山北俊英、矢島成浩、田村 優：「自動車用ゴム部品の寿命推定の一手法」、第28回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.177-182、(1998)
- 8) 山北俊英、矢内秀克、矢島成浩、田村 優：「自動車用ゴム部品のオゾン劣化を考慮した寿命推定手法の検討」、第29回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.185-190、(1999)
- 9) 小野 崇、矢内秀克、田村 優：「車両におけるPVC（ポリ塩化ビニル）熱劣化の寿命推定に関する一考察」、第30回日科技連信頼性保全性シンポジウム、P.153-158、(2000)
- 10) 田村 優：「ゴム・樹脂製品における故障解析と寿命予測」、P.255-270、日本テクノセンター、(2002)
- 11) 田村 優：「自動車の信頼性総論」、vol.22/№2/通巻102号、日本信頼性学会、P.108-113、(2000)
- 12) 山北俊英、田村 優：「無人走行技術の耐久信頼性開発への適用と展望」、vol.22/№2/通巻102号、日本信頼性学会、P.159-164、(2000)

ISO 國際安全規格

— 内容と動向 —

佐藤 国仁*

国際安全規格が次々にJIS化されている。行政施策としても、昨年6月には、ISO 12100を基礎とした、「機械の包括的な安全基準に関する指針」が策定された。本稿では、国際安全規格を改めて概観し、その改訂の動向をまとめた。ここでは、国際安全規格のうち、ISO規格を中心に解説する。

1. ISO、ENおよびJIS

ISO（国際標準化機構）とEN（欧州規格）、およびJISを含む欧州連合非加盟国の国内規格との関係を図1に示す。

国際安全規格は、次に示す手順で、規格化が進められてきた。

- (1) 機械指令制定 (1989)
- (2) 整合規格としての各種ENの制定 (EN 292 : 1991, EN 954-1 : 1996, EN 1050 : 1996)
- (3) ENを原案とする、国際規格の制定 (ISO 12100 : 未発行、ISO 13849-1 : 1999, ISO 14121 : 1999)
- (4) 国際規格へのJISの整合 (JIS B 9700 : 未発行、JIS B 9705-1 : 2000, JIS B 9702 : 2000)

この規格化の手順を規定するのが、ウィーン協定およびWTO-TBT協定である。それらを2項、3項で説明する。

なお、ISOでは、プロジェクトの各段階で表1に示すよう

な関連文書が作成される。

ISOの番号は原則として登録順に割り付けられる。EN規格の番号体系は、表2に示すルールに則って割り付けられる。ここで、CENとは欧州標準化委員会。CENELECとは欧州電気標準化委員会である。

表1 プロジェクトの各段階とその関連文書²⁾

プロジェクトの 段 階	関 連 文 書	
	名 称	略 号
0.予備段階	予備業務項目 (Preliminary work item)	PWI
1.提案段階	新業務項目提案 (New work item proposal)	NP
2.作成段階	作業原案 (Working draft (s))	WD
3.委員会段階	委員会原案 (Committee draft (s))	CD
4.照会段階	国際規格案 (Draft International Standard)	DIS
5.承認段階	最終国際規格案 (Final Draft International Standard)	FDIS
6.発行段階	国際規格 (International Standard)	—

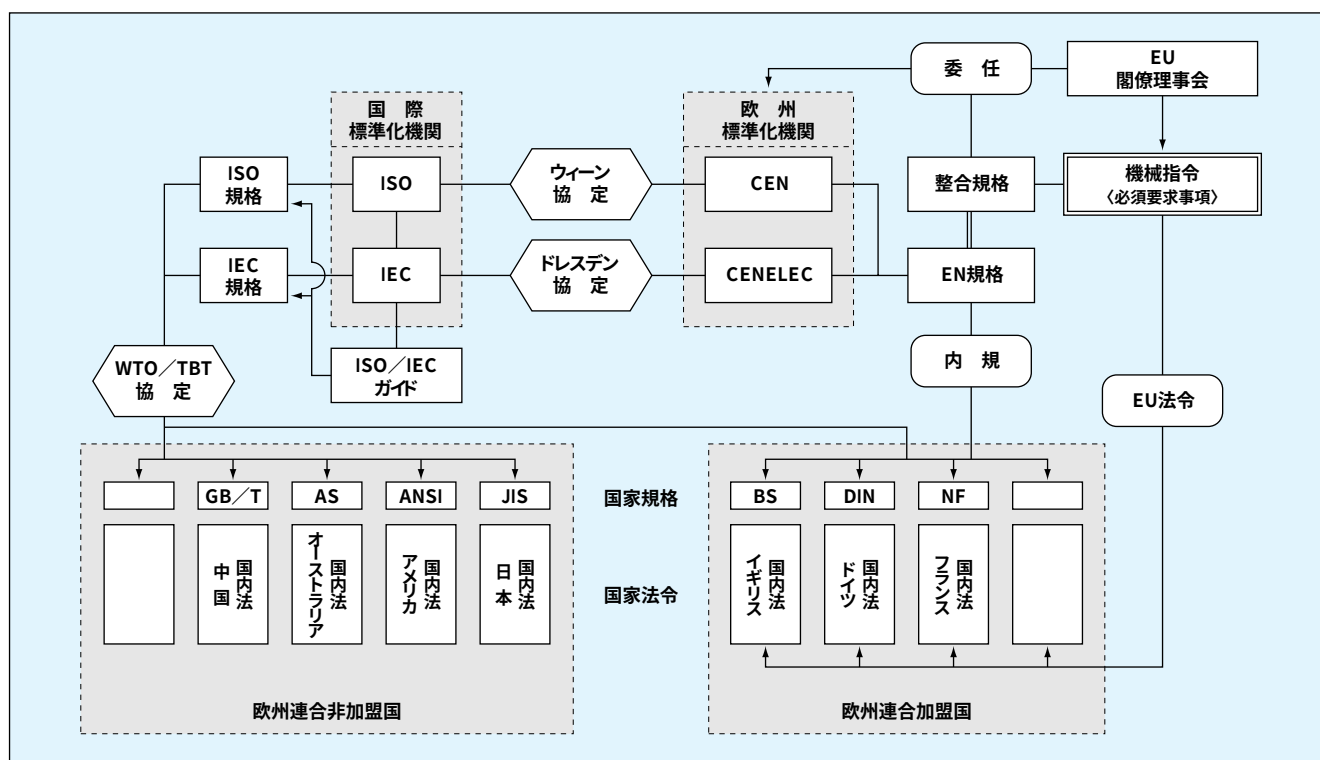


図1 ISO、ENおよびJISの関連¹⁾

*安全技術応用研究会

表2 EN規格の番号体系³⁾

EN規格番号	規 格 の 内 容
1-39999	CENに割り当て
1 - 1999	CENが独自に作成した規格
2000 - 6999	欧州航空宇宙材料工業会が作成した規格
7000 - 9999	予備番号
10000-19999	欧州鉄鋼標準化委員会が作成した規格
20000-39999	ISO規格を置き換えた規格(20000+ISO番号で表記)
40000-49999	CENとCENELECの共同規格
40000-44999	情報処理技術と機器の規格
45000-49999	他の共同作成規格
50000-199999	CENELECに割り当て
50000 - 54999	CENELECが独自に作成した規格
55000 - 59999	国際無線障害特別委員会が作成した規格
60000 - 69999	IEC規格を置き換えた規格(60000+IEC番号で表記)
70000 - 99999	予備番号
100000-199999	CENELECの電子部品認証委員会が作成した規格

2. ウィーン協定

ウィーン協定（ISO/CEN技術協力協定）とは、ISOとCENが、規格開発において相互の技術協力を行うことを定めた協定であり、1991年5月に締結された。この協定によって、両者が共同で規格を検討することを定め、CENによるDIS（ISOにおける国際規格原案）の作成を認めた。

（ウィーン協定、部分）²⁾

4.3 修正して採択するように提案されたISO規格

(a) (ii) 要求した欧州の目標期日以内に、またはその他の理由によってISO規格の改訂版を作成することができないか、または好ましくない場合には、5.2に従ってヨーロッパ規格はCENで完成される。CEN内部で合意された修正事項は、さらに整合を図るために（例えば、迅速法による手続き、つまり既存の規格をそのままDISとして投票にかけける方法のもとで）CEN/CSからISOに提供される。

出典：「ISO規格の基礎知識」、日本規格協会

IEC(国際電気標準会議)においては、委員会原案(CDV: ISOではDISに相当、表1参照)に対する賛否の投票を行う際、反対票を投じるにはその技術的理由を述べなければならないとされており、委員会原案(CDV)の提案権を持つことは、非常に大きな意味を持っている。ISOにおける投票の際のルールを確認できていないが、同様のルールがあればもちろん、そうでなくとも、原案提案権を持つということは規格制定において非常に有利な立場を確保することとなる。

この仕組みは、非欧州圏には不利をもたらす。CENがDIS(国際規格原案)を作成する場合、日本を含む非欧州諸国は、CENがISOにDISを提出するまで国際規格策定に関与できないこととなる。我が国は、これでは、透明性、公開性、公平性を確保できず、「国際規格作成プロセスに関する原則」に欠けるとして、見直しを提案している。

3. WTO-TBT協定

JISをISOに整合化する（しなければならない）根拠は、WTO-TBT協定に基づく。WTO-TBT協定（World Trade Organization-Technical Barriers to Trade）は、規格の国際整合に留まらず、適合性評価の手続き、その結果の相互認証、技術者の資格制度の整合化と相互認証など、非常に広範囲に、その影響を及ぼしている。

TBT協定とは、1979年4月に国際協定として合意されたGATTスタンダードコードが1994年5月にTBT協定として改訂合意され、1995年1月にWTO協定に包含されたものです。TBT協定はWTO一括協定となっており、WTO加盟国全部に適用されています。

TBT協定は、工業製品等の各国の規格及び規格への適合性評価手続き（規格・基準認証制度）が不必要な貿易障害とならないよう、国際規格を基礎とした国内規格策定の原則、規格作成の透明性の確保を規定。

参考 TBT協定の主なポイント

- 第2条 中央政府機関の強制規格に関連する条項では、2.4において、国際規格を基礎として強制規格を実施することを義務づけ。
- 第4条 任意規格の制定に関する条項では、4.1において、加盟国に対し、中央標準化機関の規格制定等に関する適正実施規準の受け入れ確保を義務づけ。
- 第5条 中央政府機関による適合性評価に関する条項では、5.4において、加盟国が行う強制規格及び任意規格に対する適合性評価手続について、国際標準化機関の定める指針又は勧告を基礎として用いることを義務づけ。
- 第6条 中央政府機関による適合性評価手続の結果の申入れに関する条項では、6.1において、加盟国に対し、国際標準化機関の定める指針又は勧告に従い認定等を受けた海外の認証機関については、十分な技術的能力があると認め、可能なときはその適合性評価手続の結果の受け入れ確保を義務づけ。また、加盟国間で、適合性評価手続の結果の相互承認交渉を行うことを奨励。

出典：日本工業標準調査会ウェブサイト
(<http://www.jisc.go.jp/cooperation/wto-tbt-guide.html>)

4. 国際安全規格とその改訂作業

国際安全規格が、次のような階層構造を持っていることは良く知られている。

- (1) A規格＝基本規格
- (2) B規格＝グループ安全規格（B1：各機械に共通的に用いられる安全要素。B2：安全関連装置）
- (3) C規格＝個別製品規格

AおよびB規格に位置づけられる主要な規格類はかなり整備されたが、最も重要な、ISO 12100がまだ国際規格案

段階（DIS）に留まっている。正式な制定は、2003年頃になるといわれているが、まだ不明である。

一方、ISO規格は、5年ごとの見直しを原則としており、すでに制定されている規格類の見直しも進んでいる。さらにJIS化のスケジュールも重なり、複雑な状況を呈している。それらを表3(ISO) および表4(IEC) に示す。

このように、JIS化作業は精力的に進められており、国際安全規格が和文で読めるようになってきた。ただ、翻訳に伴う意味の不明瞭さはどうしても避けられず、最後は、英文本文を参照しなければならないという状況は変わらない。

表3 ISO規格の制定

規格番号	規格発行年	規格名称	JIS化状況
ISO/DIS 12100-1	—	機械類の安全性—基本概念、設計のための一般原則 パート1：基本用語、方法論	TR 12100-1はTR B 0008として1999年発行 JIS B 9700-1予定
ISO/DIS 12100-2	—	機械類の安全性—基本概念、設計のための一般原則 パート2：技術原則	TR 12100-2はTR B 0009として1999年発行 JIS B 9700-2予定
ISO/AWI 13848	—	機械類の安全性—用語	JIS B 9701予定
ISO 13849-1	1999	機械類の安全性—制御システムの安全関連部 パート1：設計のための一般原則	JIS B 9705-1
ISO/DIS 13849-2	—	機械類の安全性—制御システムの安全関連部 パート2：確認、試験、不具合リスト	
ISO/TR 13849-100 (TYPE3)	—	機械類の安全性—制御システムの安全関連部 パート100：ISO 13849-1の設計のための一般原則を適用するための ガイドライン	
ISO 13850	1996	機械類の安全性—非常停止—設計のための原則	JIS B 9703
ISO 13851	2002	機械類の安全性—両手制御装置—機能的側面及び設計原則	JIS B 9712予定
ISO 13852	1996	機械類の安全性—危険区域に上肢が到達するのを防止するための 安全距離	JIS B 9707予定
ISO 13853	1998	機械類の安全性—危険区域に下肢が到達するのを防止するための 安全距離	JIS B 9708予定
ISO 13854	1996	機械類の安全性—人体部位が押しつぶされるのを回避するための 最少隙間	JIS B 9711予定
ISO 13855	2002	機械類の安全性—手／腕の速度—人体部位の接近速度に基づく 安全装置の位置	
ISO 13856-1	2001	機械類の安全性—圧力検知保護装置— パート1：マット及びフロアの設計及び試験のための一般原則	
ISO 14118	2000	機械類の安全性—予期しない起動の防止	JIS B 9714予定
ISO 14119	1998	機械類の安全性—ガードインターロック装置—設計及び選択のための 一般原則	JIS B 9710予定
ISO 14120	2002	機械類の安全性—ガード（固定式、可動式）の設計及び製作のための 一般要求事項	JIS原案作成予定
ISO 14121	1999	機械類の安全性—リスクアセスメントの原則	JIS B 9702
ISO 14122-1	2001	機械類の安全性—機械類への常設接近手段 パート1：高低差のある2箇所間の昇降設備の選択	JIS B 9713-1予定
ISO 14122-2	2001	機械類の安全性—機械類への常設接近手段 パート2：作業プラットフォーム及び通路	JIS B 9713-2予定
ISO 14122-3	2001	機械類の安全性—機械類への常設接近手段 パート3：階段、段ばし及び防護さく（柵）	JIS B 9713-3予定
ISO/FDIS 14122-4	—	機械類の安全性—機械類への常設接近手段 パート4：固定はしご	JIS B 9713-4予定
ISO 14123-1	1998	機械類の安全性—機械類によって放出される危険物質の健康に対する リスクの低減 パート1：機械類製造者のための原則及び仕様	JIS B 9709-1
ISO 14123-2	1998	機械類の安全性—機械類によって放出される危険物質の健康に対する リスクの低減 パート2：検証手順による方法論	JIS B 9709-2
ISO 14159	2002	機械類の安全性—機械類設計のための衛生的要求事項	

出典：ISOウェブサイト（<http://www.iso.ch/>）
 社団法人日本機械工業連合会ウェブサイト（<http://www.jmf.or.jp/>）
 安全技術応用研究会ウェブサイト（<http://www.sostap.org/>）

表4 IEC規格の制定

規 格 番 号	規 格 名 称	JIS化状況
IEC 60204-1 (機械の電気装置、第1部)	一般要求事項。種々の機械及び機械の組み合わせで使用される電気設備に適用する要求事項が述べてある。	JIS B 9960-1
IEC 60204-11 (機械の電気装置、第11部)	1000VAC又は1500VDCを超え、36kVを超えない電圧に対する要求事項。	JIS B 9960-11予定
IEC 60204-31 (機械の電気装置、第31部)	縫製用機械、ユニット、及びシステムに対する安全性及びEMC要求事項。	JIS B 9960-31予定
IEC 60204-32 (機械の電気装置、第32部)	巻き上げ機械に対する要求事項。	JIS B 9960-32予定
IEC 61310-1 (表示、マーキング及び作動、第1部)	視覚、聴覚、及び触覚シグナルの要求事項。	JIS B 9706-1予定
IEC 61310-2 (表示、マーキング及び作動、第2部)	マーキングの要求事項。	JIS B 9706-2予定
IEC 61310-3 (表示、マーキング及び作動、第3部)	アクチュエータの配置及び操作に対する要求事項。	JIS B 9706-3予定
IEC 61491 (産業機械の電気装置)	制御及びドライブ間のリアルタイム通信のためのシリアルデータリンク。	
IEC 61496-1 (電気的検知保護装置、第1部)	安全を保证するためのセンサに関する設計、製造上の一般的要求事項が述べてある。	JIS B 9704-1
IEC 61496-2 (電気的検知保護装置、第2部)	光線式安全装置に関する要求事項が示される。	JIS B 9704-2
IEC 61496-3 (電気的検知保護装置、第3部)	光線式レーダセンサに関する要求事項が示される。	JIS 原案作成予定
IEC/CD 61496-4 (電気的検知保護装置、第4部)	赤外線センサに関する要求事項が示される。	
IEC 61508-1～7 (機能的安全性－安全関連システム)	電気／電子／プログラマブル電子システムを安全関連制御システムに適用する場合のフレームワークについて述べている。	JIS C 0508
IEC/CD 62046 (人センシング保護装置)	人センシング保護装置 (PSPE) の機械類への適用について述べている。 (IEC 61496の応用規格)	

出典：IECウェブサイト (<http://www.iec.ch/>)

社団法人日本機械工業連合会ウェブサイト (<http://www.jmf.or.jp/>)

安全技術応用研究会ウェブサイト (<http://www.sostap.org/>)

5. ISO／IECガイド51

現在のISO/IECガイド51は、1999年改訂版である。このガイドは、規格作成者に対して、規格に安全面を導入するためのガイドラインの提供を目的としている。しかし、以下に記すように、安全の基本定義、許容可能なリスクの概念とその達成の手順を明示することで、安全の基本概念を確立している。そして、規格作成者のみでなく、安全に関わるもの全てがよりどころとするべき基本を示している。

このガイドにおいて、「安全性」を受け入れ不可能なリスクがないことと定義した。そして、「リスク」を危害の発生する確率および危害のひどさの組み合わせと定めた。さらに、「危害」を人の受ける物理的傷害もしくは健康傷害、または財産もしくは環境の受ける害、と広くその概念を設定している。

安全の定義から「絶対的」という制約を取り除いたことで、安全を現実の管理目標として、マネジメントすることが可能となった。しかしこれには条件がある。人を尊重するという倫理が備わっていることがそれである。重大なリスクは絶対に許容しない。小さなリスクも軽視はしない、という厳格な認識が必要である。そうでないと、「許容可能なリスク」とは、「だれが」許容するのかという困難な問題を抱え込むことになる。

許容可能なリスクは、リスクアセスメントとリスク低減のプロセスを実施することで達成されることを明示した。リスクアセスメントの具体的な実施方法は、ここでは触れ

ていない。リスク低減については、設計者と使用者の責任区分を明示した。

- そして設計者は、
- (1) 本質安全設計
 - (2) 保護装置
 - (3) 安全のための情報

の3つの段階の方策を、この順番を優先順位として適用し、リスクを低減する責任を負う。製造物責任法においては、製品を十分に安全化した後、どうしても残ってしまう危険箇所に、警告ラベルを貼ることとされている。これは、まさにここに示したリスク低減方策そのものである。

リスクアセスメントの結果を受けて、機械を実際に使用して良いかどうかを判断する基準が、「リスクが許容可能なレベルに到達したかどうか」である。「許容可能なリスク」とは、その時代の社会の価値観に基づいて、受け入れられるリスクをいう。国際規格のルールに則れば、これは次のようにして定めることとなる。

- (1) C規格があるものは、その規格が定めた方策を実施することで、製造者、管理者は基本的な責任を果たしたことになる。
- (2) C規格がないものは、製造者、管理者が自己の責任のもとに「許容可能なリスク」を判断する。それが妥当かどうかは、運用後の事故の有無、そして、最終的には裁判にて定まることとなる。

6. ISO/DIS 12100-1および-2

ISO 12100-1, -2は、国際安全規格の最も中心に位置する規格であり、その正式名称を次のように称する。

機械類の安全性 — 基本概念、設計のための一般原則—
第一部：基本用語、方法論
第二部：技術原則、仕様

ただし、2002年6月現在、この規格はまだ、DIS（国際規格案）段階にあり、正式に発行されているわけではない。

JISでは現在、標準情報として、TR B 0008および0009として、ISO/TR 12100-1, -2 (1992)を翻訳して発行している。

6-1 ISO/TR 12100-1(1992) (TR B 0008)

ここに記載されている主な内容を示す。

機械類（機械）は次のように定義される。連結された部分または構成部分の組み合わせで、そのうちの少なくとも一つは適切な機械的アクチュエータ、制御および動力回路等を備えて動くものであって、特に材料の加工、処理、移動、梱包といった用途に合うように結合されたもの。

機械の安全性とは、取扱説明書で指定した「意図する使用」の条件下で、傷害または健康障害を引き起こすことなしに、機械がその機能を果たすとともに、運搬、据付、調整、保全、分解および処分され得る能力である。

そして、「意図する使用」とは、製造者が提供した情報に基づく機械の使用、または機械の設計、製作および機能に基づき一般的であると見なされる使用である。「意図する使用」については、合理的に「予見可能な誤使用」を考慮の上、取扱説明書で明確に規定した技術的な指示事項への適合も含むとされる。ここにも、製造物責任法が保護の対象とする、「通常予定される使用状態」との一致を見ることができる。

「予見可能な誤使用」としては、以下の4つの事例があげられている。

- (1) 一般的な不注意から生じるものばかりでなく、機械を故意に用途外使用した結果生じる、予見可能な間違った挙動
- (2) 機械使用中に機能不良、事故、故障等が生じた場合の人の反射的な挙動
- (3) 作業遂行中「最小抵抗経路」をとった結果として生じた挙動
- (4) ある種の機械に対して、子供または障害者のような人がとる予見可能な挙動

この規格が対象とする機械の設計とは、以下の全ての行為を指す。

- (1) 製作
- (2) 運搬および立ち上げ
- (3) 使用（設定、ティーチング／プログラミングまたは工程の切り替え、運転、清掃、不具合の検出、保全）

(4) 使用停止、分解および安全の面からの処分

フェールセーフ条件（危険側故障の最小化）として、理論的条件であって、動力源に故障が生じたとき、または、この条件成立に寄与する構成部分のいずれかに故障が生じたとき、安全機能をそのまま維持できるような条件と定義する。実際に、フェールセーフシステムを作るには、非対称故障モード特性を持つ要素の組み合わせにより実現することができる。さらに、このあと、ガード、制御装置など、具体的なリスク低減方策の事例が書かれている。

次いで、危険源が数多く例示される。これは、7項で解説する規格ISO 14121にて詳述される内容である。

6-2 ISO/TR 12100-2(1992) (TR B 0009)

この規格では、リスク低減の方策が、4つに分類されて示される。これらの方策は、番号の若い順に優先順が設定されている。すなわち、番号の若い方策をまず優先して実施し、それだけでは不十分であった場合、次の番号の方策を実施することが求められている。

- (1) 設計によるリスクの低減
ここでは、2つの原理が採用されている。一つは、設計上の各種処置方法を適切に選択し、できる限り多くの危険源の生成を防止し、低減すること。もう一つは、作業員が危険区域内に介入する必要性を低減することにより、人の危険源への暴露を制限することである。
- (2) 安全防護
ここでは、各種のガードおよび安全装置が示されている。
- (3) 使用上の情報
使用上の情報とは、文章、語句、標識、信号、記号、図形等を個別に、または組み合わせて使用して使用者に情報を伝えるための通信手段をいう。ただし、これによって設計上の不備を補ってはならないと明記している。
- (4) 追加予防策
次の2つの方策が規定されている。
 - ・非常事態を想定した予防策として、非常停止装置および 捕捉された人の脱出および救助に関する予防策
 - ・安全に寄与する設備として、保全性、動力の遮断、エネルギー放散、その他

6-3 ISO 12100の修正と発行

ISO 12100は、現在、国際規格案（DIS）の段階にある。TR B 0008, TR B 0009の1992年版からは幾たびかの修正が行われており、国際規格としての発行は、2003年頃と見なされている。最近の規格案の構成を、TR B 0008, TR B 0009と比較し、表5および表6に示す。

1992年版と最新規格案を比較すると、次のように変化している。

- (1) ISO/DIS 12100-1
保護方策について、設計者により講じられる保護方

表5 12100-1の構成

	TR B 0008 (ISO/TR 12100-1:1992)		ISO/DIS 12100-1 (2001)
1	適用範囲	1	適用範囲
2	引用規格	2	引用規格
3	基本概念	3	用語および定義
4	機械類によって生じる危険源の詳細	4	機械類の設計時の考慮すべき危険源
4.1	一般	4.1	一般
4.2	機械的危険源	4.2	機械的危険源
4.3	電氣的危険源	4.3	電氣的危険源
4.4	熱的危険源	4.4	熱的危険源
4.5	騒音による危険源	4.5	騒音による危険源
4.6	振動による危険源	4.6	振動による危険源
4.7	放射線による危険源	4.7	放射線による危険源
4.8	材料および物質による危険源	4.8	材料および物質による危険源
4.9	人間工学原則無視による危険源	4.9	人間工学原則無視による危険源
4.10	危険源の組み合わせ	4.10	すべり、つまずきおよび墜落の危険源
		4.11	危険源の組み合わせ
		4.12	機械が使用される環境に関連する危険源
5	安全方策の選択方針	5	リスク低減のための戦略
		5.1	一般規定
5.1	機械の制限に関する仕様	5.2	機械の制限について詳細明記
5.2	危険状態の体系的なアセスメント		
5.3	設計によるリスクの低減		
5.4	安全防護	5.4	保護方策による危険源の除去またはリスクの低減
5.5	使用者に対する残留リスクの通知警告		
5.6	追加予防策		
5.7	注意事項		
		5.5	リスク低減目標の達成
6	リスクアセスメント	5.3	危険源の同定、リスク見積もりおよびリスクの評価
6.1	序文		
6.2	リスクの査定で配慮されるべき要因		

表6 12100-2の構成

	TR B 0009 (ISO/TR 12100-2:1992)		ISO/DIS 12100-2 (2001)
1	適用範囲	1	適用範囲
2	引用規格	2	引用規格
3	設計によるリスクの低減	3	本質的設計方策
3.1	鋭利な端部および角部、突出部等の回避	3.1	一般
3.2	機械類の本質安全設計	3.2	幾何学的要因および物理的側面の考慮
3.3	設計規格、材料特性のデータ等の配慮	3.3	機械設計に関する一般的技術知識の考慮
3.4	本質安全の技術、工程、動力源の採用	3.4	適切な技術の選択
3.5	機械的構成部分のポジティブな機械的作用の原理の採用	3.5	構成品間のポジティブな機械的作用の原理の採用
3.6	人間工学原則の遵守	3.6	人間工学原則の遵守
3.7	制御システム設計時の安全原則の適用	3.7	制御システムへの本質的設計方策の適用
3.8	空圧および油圧設備の危険源防止	3.8	空圧および液圧設備の危険源防止
		3.9	安全重要機能の故障の最小化
3.9	電氣的危険源の防止	3.10	電氣的危険源の防止
3.10	設備の信頼性による危険源への暴露機会の制限	3.11	設備の信頼性による危険源への暴露機会の制限
3.11	搬入／搬出作業の機械化・自動化による危険源への暴露機会の制限	3.12	搬入／搬出作業の機械化・自動化による危険源への暴露機会の制限
3.12	設定および保全の作業位置を危険区域外とすることによる危険源への暴露機会の制限	3.13	設定および保全の作業位置を危険区域外とすることによる危険源への暴露機会の制限
		3.14	機会の保全性に関する規定
		3.15	安定性に関する規定
4	安全防護	4	安全防護および追加安全方策
		4.1	一般
4.1	ガード	4.2	ガードおよび保護装置の選択および実施
4.2	ガードおよび安全装置の設計並びに製作に関する要求事項	4.3	ガードおよび保護装置の設計に関する要求事項
		4.4	エミッションを低減するための安全防護
		4.5	追加保護方策
5	使用上の情報	5	使用上の情報
5.1	一般的要求事項	5.1	一般的要求事項
5.2	使用上の情報の配置および特質	5.2	使用上の情報の配置および特質
5.3	信号および警報装置	5.3	信号および警報装置
5.4	表示、標識、警告文	5.4	表示、標識、警告文
5.5	付属文書（特に取扱説明書）	5.5	付属文書（特に取扱説明書）
6	追加予防策		
6.1	非常事態を想定した予防策		
6.2	安全に寄与する設備、システムおよび装備		

策に加え、使用者により講じられる保護方策が規定された。同時に、設計者から使用者へ、使用者から設計者へという情報の流れが規定された。

(2) ISO/DIS 12100-2

機械類の安全性は、制御システムの信頼性だけでなく、機械の全ての部品の信頼性に依存しているとして、信頼性に関する節が新たに設けられた。後に述べる、ISO 13849の改訂による信頼性概念の導入とともに、国際機械安全の傾向として注目すべきである。

7. ISO 14121

ISO 14121—機械類の安全性—リスクアセスメントの原則—は、国際安全規格の体系において、A規格に位置づけられる、重要な規格である。

ここでは、リスクは次の要素からなるとされる（図2）。

この規格の特徴は次の2点である。

- (1) リスクアセスメントの手順が反復的プロセスとして定義されたこと
 - ・ 機械類の使用上の制限の決定
 - ・ 危険源の同定
 - ・ リスク見積もり
 - ・ リスク評価
 - ・ 機械類は安全か？の判定
- (2) 危険源は、付属書Aの表を参考にして、同定すべきこと

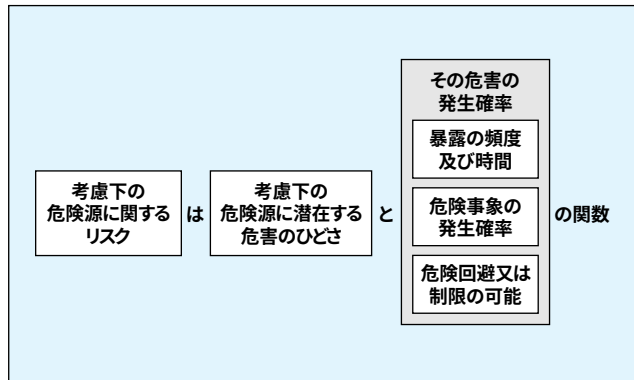


図2 リスクの要素 (JIS B 9702-1による)

8. ISO 13849-1 — 機械類の安全性 — 制御システムの安全関連部

— 第1部:設計のための一般原則 —

8-1 1999年版

この規格は、安全関連部を定義し、その安全性の分類をカテゴリとして定義し、リスクの大きさに対応して採用すべきカテゴリを定義するという重要な規格である。

ここでの安全関連部とは、入力信号に応答し、かつ安全関連出力信号を生成する制御システムの部分または付属部分のことである。制御システムに組み合わされた安全関連部は、安全関連信号の発生するところで始まって、動力制御要素の出力で終わり、これは監視システムを含む。

カテゴリとは、不具合（障害）に対する抵抗性（フォールト・レジスタンス）、および不具合（障害）条件下の挙動に関する制御システムの安全関連部の分類である。

安全方策の選択および設計のために、以下の手順が定められている。各手順はそれぞれ他の手順と相関を持つため、最終的に安全方策を定めるには反復的なプロセスとなる。

- (1) ステップ1: 危険源分析およびリスクアセスメント
 - (2) ステップ2: 制御手段によるリスク低減方策の決定
 - (3) ステップ3: 制御システムの安全関連部に対する安全性要求事項の指定
 - (4) ステップ4: 設計
 - (5) ステップ5: 妥当性確認
- カテゴリの要求事項は良く知られており省略する。

この規格の大きな特徴は、カテゴリを定義し、リスクのレベルに対応する、安全関連部の「カテゴリ」の選択基準を定めたことにある。これによって、どの程度のリスクにどの程度の安全システムを組み込めばよいのかについて統一した原則がうち立てられた。

この規格ができるまでは、一部の機械について定められている安全基準（構造規格など）を基に、類似設計をしていた。しかし、個々の安全基準が十分知られているわけではない。また、安全基準が設定されている機械と異なる業種においては、その基準の意味を知ることもしなやか困難である。結局、基本原則がなければ統一的な安全設計はできない。ISO 13849によって、初めて統一した安全方策の適用基準ができあがったことになる（ただし、リスクに対するカテゴリの選択は、この規格においても、付属書に参考として記載されるに留まっている）。

8-2 改訂

この規格の基になっている、EN 954-1は、現在改訂作業が進んでいる。改訂原案によると、リスクグラフから安全方策の選択までの手順（ESPEC技術情報No.27、P.4参照）が大きく変わることになる。

ISO 13849-1(1999)では、図3に示すように、リスク見積もりからカテゴリは一意的に定められた（ただし、複数の候補がある）。

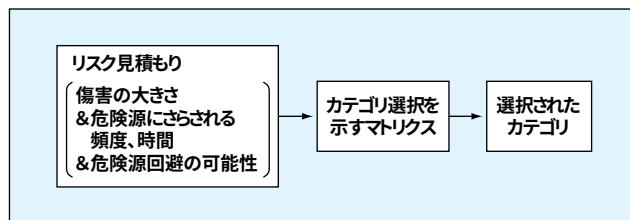


図3 ISO 13849 (1999) によるカテゴリ選択

いま作業が進められている、EN 954-1では、図4に示すとおり、リスク見積もりの結果、PLr (required Performance Level：所要安全遂行レベル) が定められる。一方、PL (Performance Level：安全遂行レベル) は、以下の4つのパラメータによって定められる。

- (1) カテゴリ＝現在のカテゴリと同様
- (2) DC＝Diagnostic Coverage：自己診断率
- (3) β ＝Common-Cause-Factor：共通要因障害による危険側故障率
- (4) MTTFd＝Mean Time to Dangerous Failure：危険側故障寿命

4つのパラメータを適当に組み合わせた結果、PL (安全遂行レベル) が定まる。そして、このPLをPLr (所要安全遂行レベル) のレベルに到達させることが、安全方策選定の目標となる。

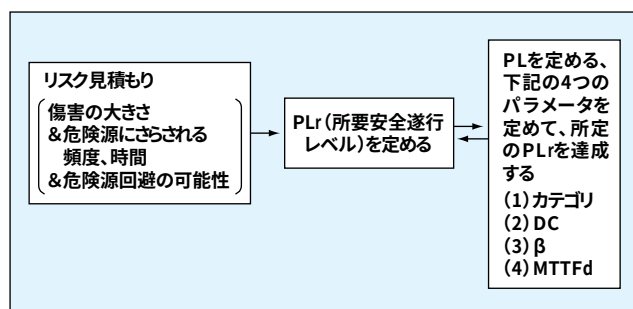


図4 EN954-1案によるPLの選択

また、PL (安全遂行レベル) と危険側故障率およびSIL (安全性インテグリティレベル＝安全性達成の程度＝IEC 61508) とは、表7のように関連付けられている。

表7 PL (安全遂行レベル)、危険側故障率およびSIL (IEC 61508) との関連

PL	Average Probability of a Dangerous Failure per Hour (1/h)	SIL
a	$10^{-5} \leq \text{PDF} < 10^{-4}$	—
b	$3 \times 10^{-6} \leq \text{PDF} < 10^{-5}$	1
c	$10^{-6} \leq \text{PDF} < 3 \times 10^{-6}$	1
d	$10^{-7} \leq \text{PDF} < 10^{-6}$	2
e	$10^{-8} \leq \text{PDF} < 10^{-7}$	3

このように、信頼性の概念が大幅に取り入れられ、IEC 61508の考え方が取り入れられている。現在のISO 13849において、カテゴリ選択基準によれば、複数のカテゴリが許容されている場合がある。この場合の具体的な選択基準は明示されていなかった。この改訂草案によれば、信頼性基準にて、選択基準が定められることになる。

[参考文献]

- 1) 向殿政男：「国際化時代の機械システム安全技術」、安全技術応用研究会、日刊工業新聞社
- 2) 「ISO規格の基礎知識 (改訂版)」、日本規格協会
- 3) 「機械安全の国際規格とCEマーキング」、日本規格協会

故障解析方法

— Part 1 電子部品の断面観察方法 —

永井 孝幸*

近年、製品の微少化・高集積化が急速に進むにつれて、評価試験後の故障解析が重要な役割を持つようになってきた。故障解析により得られたデータは、理論的な裏付けのあるデータであるため、以後の製品開発・製造に大いに有効となる。本稿では、評価試験後の故障解析においてよく実施される代表的な方法を、今回より3回にわたり、わかりやすく紹介する。

Part 1：電子部品の断面観察方法

Part 2：軟X線検査装置による非破壊検査方法

Part 3：電子顕微鏡による故障解析方法

1. 断面観察の有効性

試料の断面を顕微鏡で観察する手法は、金属の研究開発、品質評価、欠陥の原因究明に広く用いられてきたが、最近では、電子部品などの評価においても、外観では正確に判断できない故障要因を見つけ出す手法として、一般的に用いられている。特に、表面実装部品のはんだ接合部の観察においては、外観からの故障箇所の特定が難しいため、その組織検査や破断箇所の特定に有効な観察方法となる。

2. 断面観察方法

2-1 前処理

断面観察を実施する前に、分析箇所検出のために低倍率（ $\times 10 \sim \times 30$ ）の実体顕微鏡などで外観観察を行う（写真1）。また、試料の切り出しが必要な場合は、切断装置を用いて試料にダメージを与えないように切断する。



写真1 分析箇所の検出（実体顕微鏡）

2-2 樹脂含浸、部分切断

切り出した試料を容器に入れ、エポキシ系樹脂を含浸後、真空ポンプなどを用いて気泡を抜き、樹脂を浸透させる（写真2）。常温または高温にて樹脂を硬化させ、精密切断装置により観察箇所を切断する（写真3）。

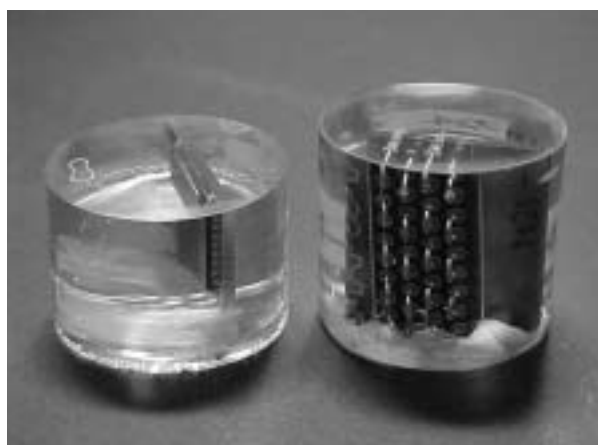


写真2 樹脂硬化後の試料



写真3 精密切断装置

*エスバック環境試験技術センター株式会社 宇都宮試験所

2-3 断面研磨

研磨装置を用いて段階的に作業を進める（写真4）。最初に、耐水研磨紙により粗研磨し、観察箇所を特定する。洗浄後、バフとダイヤモンド研磨剤を用いて中間仕上げをする。この段階では細かい傷は残るが、平坦度が良くなる。最終仕上げとして、軟金属の仕上げに最適な酸化ケイ素研磨剤とマイクロクロスバフ（材質は綿布の裏地に、レーヨンの繊維を埋め込んだもの。マイクロクロスはケバのあるバフで、現在世界で最も多く使用されており、最終仕上げ研磨に最適。）を用いて、残っている細かい全ての傷を取り除く。



写真4 研磨装置

2-4 断面観察

断面の観察には金属顕微鏡を用いる（写真5）。高い倍率（50×500）を持ち、広範囲な観察ができるため、金属組織変化や合金層の確認などに適している。また、より詳細な観察のためには、電子顕微鏡（SEM）なども用いられる（写真6）。



写真5 金属顕微鏡



写真6 電子顕微鏡（SEM）

3. 評価事例

3-1 はんだ接合部の解析

はんだは、温度サイクルと熱による金属組織変化によりクラックが発生し、導通不良故障となる。写真7,8、は表面実装用抵抗の断面観察結果である。断面観察結果より、はんだフィレット部にクラックが発生しており、またクラック周辺部のはんだ組織が粗大化していることがわかる。このことより、この部品には熱と温度変化によるひずみ応力が、フィレット部に加わったと考えられる。

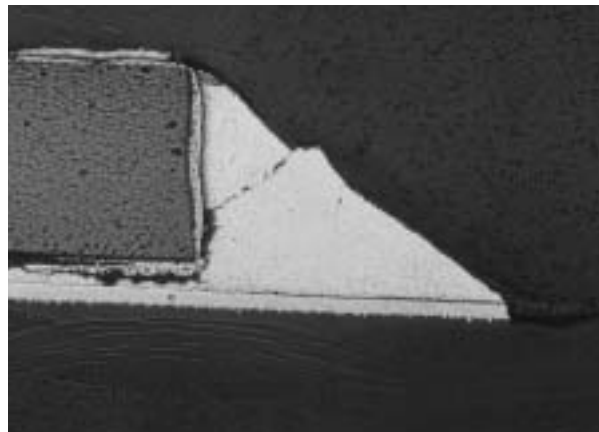


写真7 クラック発生箇所（×50）



写真8 クラック部分のはんだ組織の変化（×200）

3-2 プリント基板の解析

プリント基板は、熱膨張率の高い樹脂上に一般的に熱膨張率の低い銅のような金属が接着されているため、温度サイクルにより銅箔パターンのクラックが発生する。写真9は両面基板のコーナークラックであり、コーナー部は熱によるひずみ応力の影響を一番受けやすくクラックに至る。また、多層基板（写真10）では、内層パターンとスルーホール接合箇所などでクラックが発生している。

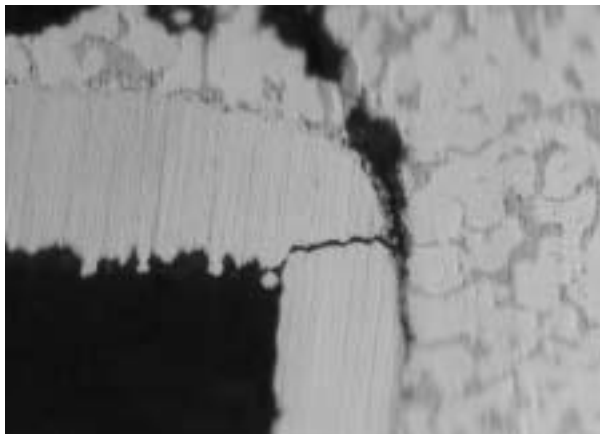


写真9 両面基板のコーナークラック (×200)

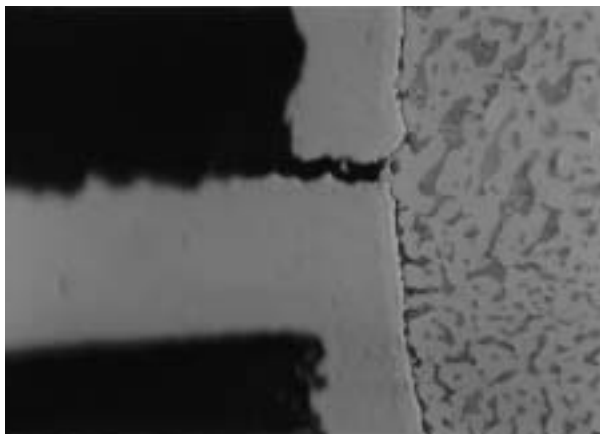


写真10 多層基板の内層クラック (×200)

3-3 金属腐食の解析

金属に硫黄や塩素、臭素など腐食物質が付着すると金属腐食に至る。この事例では、銅管が腐食性ガスにより腐食し、管内部まで浸食した(写真11)。断面観察より、外部から内部に向かって浸食が進んでいることがわかる(写真12)。

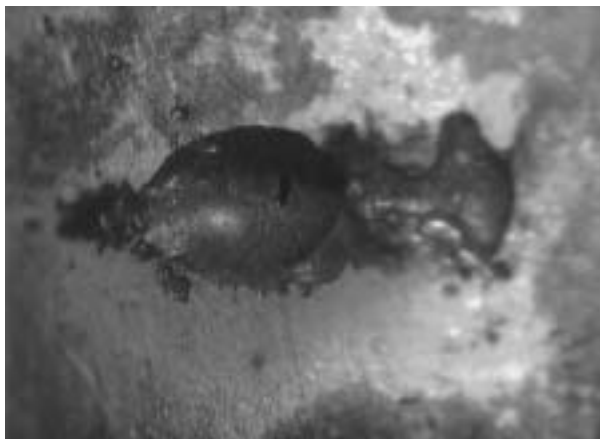


写真11 銅管腐食部外観 (×20)

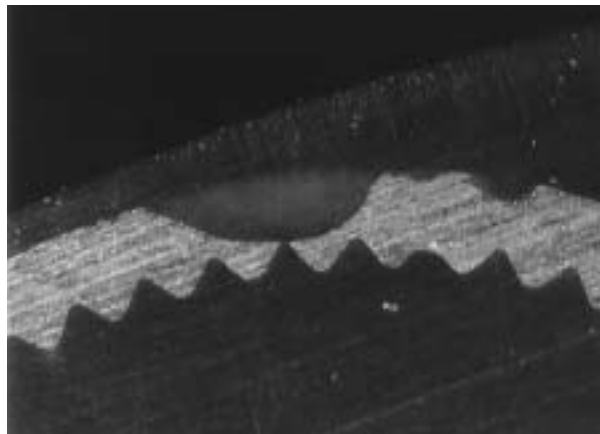


写真12 断面観察結果 (×20)

4. おわりに

エスベック環境試験技術センターでは、お客様のご要望に応じた環境試験をお引き受けいたします。また、環境試験実施後の試料評価についてもお引き受けいたします。今回から連載させていただく、一般的な故障解析方法以外にも対応いたしますので、お気軽にお問い合わせください。

●お問い合わせ先

エスベック環境試験技術センター株式会社

東京オフィス：Tel.03-5633-7294(ダイヤルイン)

Fax.03-5633-7305

大阪オフィス：Tel.06-6235-3626(ダイヤルイン)

Fax.06-6235-3627

E-mail: traceability@espectc.com

TOPICS

公益信託 エスペック地球環境研究・技術基金

— 2002年度 助成対象者 選考結果 —

浜田 牧子*

№29で掲載しました本基金の助成対象者の募集に際し、多数の応募をいただきありがとうございました。運営委員会により厳正に審査・選考した結果、下記のとおり助成対象者を決定しましたのでご報告いたします。

今回の募集は、2003年4月1日から5月31日の予定です。

また、2000年度の研究報告書を弊社ホームページで公開していますのでご覧ください。URL (<http://www.espec.co.jp/espec/company/ecology/eco-fund/eco-fund01.html>)より、「過去の助成対象テーマ一覧表」をクリックしてください。

表1 2002年度 助成対象テーマ一覧表

研究代表者	研究テーマ	助成金額
金本 自由生 愛媛大学 沿岸環境科学研究センター 助手	亜熱帯海草藻場の年変動に関する研究	40万円
芝田 隼次 関西大学 工学部化学工学科 教授	石炭灰を原料とするゼオライトを用いた閉鎖性水域の富栄養化抑制技術の開発	50万円
惣田 訓 大阪大学大学院 工学研究科 助手	大阪湾環境共生型海上都市構想 — 自然学習村の土地利用計画と海水浄化能力の評価 —	45万円
永瀬 裕康 大阪大学大学院 薬学研究科 助手	内分泌攪乱化学物質の生物処理システムの開発と廃棄物処分場浸出水処理への応用	50万円
橋本 伸哉 静岡県立大学 助教授	大気中二酸化炭素減少のための植物プランクトン増殖手法のオゾン層破壊への影響予測	50万円
福田 和代 九州大学大学院 総合理工学研究科 博士後期課程	短周期日射変動に伴う地上風速の応答特性	15万円

*技術開発本部 技術管理グループ

《「エスペック技術情報」のご提供方法変更のお知らせ》

「エスペック技術情報」編集室

いつも「エスペック技術情報」をご愛読いただき、ありがとうございます。

編集室では、「エスペック技術情報」をより一層お客様のお役に立てる情報誌として充実させていくため、その方法について検討を重ねてまいりました。その結果、①お客様へ情報をより早くお届けする、②現在の2色刷りをフルカラーにして、写真などをよりわかりやすくする、③バックナンバーの記事も活用していただきやすいにするという課題の改善には、現行の印刷物をご提供する方法では限界があるため、次号（32号、平成15年1月1日発行分）より、インターネットを利用したWeb版での提供に変更させていただくことにしました。再登録の方法を以下に記しますので、10月31日までにご連絡いただきますようお願いいたします。

今後もより一層の充実を図ってまいりますので、お客様各位におかれましてはご理解を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます。

— 記 —

1.再登録方法

■インターネットの利用環境をお持ちの方

Eメールで発行のご案内をさせていただきたいと思いますので、次のいずれかの方法でEメールアドレスをご連絡いただきますよう、お願い申し上げます。

- ・送り状の登録内容変更欄に「Eメールアドレス」を記入し、下記にFAX送信する。

FAXフリーダイヤル：0120-666325

- ・送り状がない場合は、当社ウェブサイト「エスペック技術情報」登録ページ(<http://www.espec.co.jp/etr/entry.html>)に必要事項をご記入いただき、送信してください。

■インターネットの利用環境をお持ちでない方

Web版の簡易印刷物を送付させていただきますので、次のいずれかの方法でご連絡いただきますよう、お願い申し上げます。

- ・送り状の印刷物希望欄にチェック（☒）を入れ、FAX送信する。

- ・送り状がない場合は、「ETRJ印刷物希望」、「会社名」、「所在地」、「部署名」、「氏名」、「役職」、「TEL」を記入して、下記にFAX送信する。

FAXフリーダイヤル：0120-666325

2.今後のご利用方法

■発行のお知らせ

32号（平成15年1月1日発行分）より、Eメールで発行のお知らせをさせていただきます。

■バックナンバーのご利用方法の変更

従来は、発行号ごとのPDFをご提供していましたが、記事内容ごとに利用したいというご要望を多数いただいています。バックナンバーの記事ごとに、テーマやキーワードから検索および参照できるようにしました。（平成14年10月1日よりご提供予定）

以上

エスペック技術情報

・発行日……2002年10月1日発行（年4回発行）

・発行……エスペック株式会社

大阪市北区天神橋3-5-6 〒530-8550

●本誌に関するお問い合わせは _____
エスペック株式会社「エスペック技術情報」編集室まで
お申し付けください。

TEL.06-6358-4511

FAX.06-6358-5505

Eメール <http://www.espec.co.jp/mailto.html>

Internet
ESPEC Home Page
<http://www.espec.co.jp/>

・本誌からの無断転載、複製はご遠慮ください。
・本誌は再生紙および大豆油インクを使用しています。

©2002 ESPEC CORP.

ETRJ031